

【2-1403】地球温暖化に関わるブラックカーボン放射効果の総合的評価 (H26～H28)

小池 真 (東京大学)

1. 研究開発目的

本研究の目的は、BCの排出削減に伴うBC以外のエアロゾル成分の減少の効果を含めた総合的なBC放射強制力の評価を実施することである。世界最先端の観測により数値モデル計算の基礎となるプロセスを解明し、それらのプロセスを取り込んだ詳細なモデルにより評価を実施する。

(1) BCを含むエアロゾルの吸湿特性と除去過程

BC放射強制力の最大不確定要因の一つは、他のエアロゾル成分との内部混合によるBCの吸湿特性の増加と、その結果として起きる降水による大気からの除去効率の増加である。本研究では新しい測定技術の開発に基づき世界初となる降水中のBC濃度や粒径分布の観測を実施し、個別BC粒子の吸湿特性観測との比較に基づき、BCの吸湿特性と除去過程との関係を明らかにする。

(2) BCの混合状態・形態とその放射効果の評価

BC放射強制力のもう一つの不確定要因は他のエアロゾルとの内部混合による光学特性の変化である。これらの不確定性が、グローバルモデルと地上放射観測との不整合性の重要な原因となっている。新しい観測・解析手法によりBCの混合状態を把握し、その効果を詳細な光学計算により定量化する。

(3) 有機エアロゾルの影響評価

我々は有機成分の揮発性を主要パラメーターとした新たな有機エアロゾルモデルを開発してきている。このようなモデルを用いて、無機・有機エアロゾル全体のBC放射効果への影響を評価する。

(4) BC放射強制力の総合評価

新たな観測的知見と、詳細なプロセスを導入した数値モデルにより、信頼性の高いBC放射強制力の総合評価を目指した研究を進める。

このような信頼性の高い研究により、国際的な気候アセスメントに貢献する。本研究ではまたエアロゾルの生成メカニズムの解明などによりPM_{2.5}の大気汚染対策にも資する。先端的な観測・モデルに基づいた本研究はCCACや今後の環境政策立案に必要となる科学的基盤を提供するものである。

2. 研究の進捗状況

(1) BC観測とモデル検証

従来、高精度で水溶液中のBCの質量濃度を測定する手法やBCの粒径分布を測定する手法は確立されていなかった。本研究では、最新の同軸型ネブライザーと単一粒子レーザー誘起白熱法により、降水サンプル中のBCの粒径別数濃度を高精度で測定する手法を確立した。またこれとは独立に、大気中BCの被覆成分の量と吸湿能を両方同時に測定する加湿型の単一粒子レーザー誘起白熱法の開発に成功した。これらの新技術をもちいて、当初計画どおりに2014年夏東京において大気中と降水中におけるBCの世界初の同時地上観測を実施した。この結果、第一に無機・有機エアロゾルの主要形態であるBCを含まないエアロゾルの化学成分と、BCを被覆している成分とがほぼ同じ吸湿特性を示し、それらの化学成分が一般に同じであることを示唆する結果が得られた。これは我々が開発している世界最先端のエアロゾルモデルにおいて仮定している、BCを含むエアロゾルと含まないエアロゾルが同様な凝縮・凝集成長をしていくという仮説を初めて観測により実証した重要な結果である。また第二に、大気中からBCを除去し、また同時に上層にBCを輸送する雲降水過程において、吸湿性の高いBC粒子が選択的に湿性除去されることを初めて明らかにした。この知見もBC評価で用いる数値モデル計算の最大不確定要因のひとつであるBCの湿性除去過程を数値モデルで正確に表現する上での指針を与える重要な結果である。

(2) エアロゾル混合状態とグローバルモデルによる評価

2014年夏に東京で行われた集中観測において捕集された大気中BCについて、電子顕微鏡を用いて有機エアロゾルの二次生成などに伴うBCの内部混合状態の変化を測定した。独立に測定されたBCの

光吸収量との比較から光吸収増幅効果（レンズ効果）との関連を示すことに成功した。また 2013 年に行った航空機観測や 2012 年の観測データの解析も行い、冬季から早春季に大陸から東シナ海に輸送されてくる BC の混合状態や被覆成分について明らかとした。一方数値モデル開発研究では、これまでに開発した BC の混合状態の変化を表現できるパラメタリゼーションをグローバルモデルに導入するとともに、BC が他成分により被覆されることによる光吸収量の増大効果（レンズ効果）を表現できるようにモデルを改良した。その結果、BC 以外の成分との内部混合により、BC の直接放射強制力の全球年平均値は、約 20%増大することが明らかとなった。

(3) エアロゾル粒径分布と化学組成

2014年夏に東京で行われた集中観測において、エアロゾルの粒径分布や化学組成（硫酸イオン、硝酸イオン、アンモニウムイオン、塩化物イオン、有機物）を観測的に明らかとした。この結果、観測期間の平均としては有機物の濃度が高く、測定された成分のうちの58%を占めており（硫酸イオンは26%）、中国からの影響を強く受ける沖縄辺戸岬で観測されたエアロゾルの化学組成（硫酸イオンが66%、有機物が19%）と大きく傾向が異なっていることを明らかとした。本研究ではまた初めて実時間で降水中の化学組成の分析を実施した。この結果、有機物が多く、半分以上を占めていることが明らかとなった。以上のように東京においては大気エアロゾルと降水中にはともに硫酸イオンと有機物が主成分であり、化学組成にあまり差がないことが判明した。この結果は、大気中に浮遊するエアロゾルが雲凝結核として働き、湿性除去を受けていることを示唆するものである。

(4) 広域エアロゾル観測と領域モデルによる評価

当初計画どおり台湾・福江での BC 連続計測を実施した。一酸化炭素との濃度比を用いた解析により、BC の重要な発生源であるバイオマス燃焼の影響や、輸送途中の降水による除去の影響が示唆された。これらの広域観測データは、数値モデル検証においても重要である。一方、2014 年夏に東京で行われた集中観測でサンプルされたエアロゾルについて放射性炭素同位体比分析を実施した結果、炭素性粒子全体では化石燃料燃焼よりバイオ燃料燃焼や植物起源の寄与が大きいことが明らかとなった。過去に得られたデータと比較した結果、これらの寄与が近年上昇していることが示唆された。BC のみに対し同分析を行うための前処理法の検討・基礎実験を進めた。数値モデル開発研究においては、有機成分の揮発性の変化を表現する領域規模 VBS モデルを開発し、東アジアに適用して観測と比較した。この結果、従来の世界の数多くのモデルで共通にみられた有機物の過小評価が大幅に改善した。このモデルを BC の混合状態やエアロゾル粒径を取り扱う領域モデル ATRAS へ統合し、BC による放射強制力について従来よりも信頼性の高い推定を行った。

3. 環境政策への貢献（研究代表者による記述）

- ・世界最先端の観測技術をもちいた本研究の観測は、BC や他のエアロゾルの動態や除去過程に関わる物理・化学過程の理解に貢献する。これらの知見はエアロゾルモデルの改良を通じて、BC の輸送・変質・除去過程の予測精度向上に寄与し、最終的には、BC 放射強制力の正確なモデル評価につながる。このような従来よりも信頼性の高い情報は環境政策へ貢献すると考えられる。またこの研究で改良・検証された数値モデルそのものが今後、PM_{2.5} 濃度の削減対策を含めたさまざまな環境政策の策定において根拠となる科学的知見を提供できる成果といえる。このような知見の蓄積は組織の準備が進みつつある第 6 次の IPCC 報告書（AR6）に対しても重要な貢献ができると考えられる。
- ・The 2nd ABC-SLCP Symposium（2014 年 7 月 21-23 日、東京大学）が開催され、日本の環境省、UNEP、ABC、CCAC の代表者らが一堂に会した。このシンポジウムにおいて最新の研究について報告するとともに、今後の活動計画について議論するなどの貢献を行った。
- ・環境省大気モニタリングデータ総合解析ワーキンググループ委員会に参加し、越境大気汚染の総合的解析方法の検討に貢献した。
- ・韓国環境省主催の Long-range Transboundary Air Pollutants in Northeast Asia に環境省担当官と共に参加し、越境大気汚染の総合的解析方法の検討に貢献した。

4. 委員の指摘及び提言概要

これまで不確定性の大きかった BC の振る舞いに対し、物理化学的なプロセスを明確にし、モデルに入れることで定量的な説明が可能になりつつある。科学的にも政策的にも成果が期待できる有効な実証的研究となっている。先行研究からの発展として、新知見が得られており、今後の進展が期待できる。我が国の BC 放射効果評価作業への貢献、学術面での国際的貢献を期待したい。パラメタリゼーションの内容は詰めてほしい。

5. 評点

総合評点： A